

## МАШИНИ І АВТОМАТИЗОВАНІ КОМПЛЕКСИ

УДК 681.62.064

### ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ РОЗПОДІЛУ ФАРБОВИХ ШАРІВ У ФАРБОВИХ АПАРАТАХ ДРУКАРСЬКИХ МАШИН

© Ю. О. Шостачук, к.т.н., доцент, І. С. Жеребко, магістр,  
О. П. Шостачук, аспірант, НТУУ «КПІ», Київ, Україна

**В статье рассматриваются вопросы исследования красочных аппаратов листовых офсетных печатных машин.**

**The article is devoted the problems of stability and reliability of work of colourful devices of sheet offset printing machines.**

#### Постановка проблеми

У машинах офсетного друку якість відтворення зображення залежить від кількості фарби та рівномірності нанесення шару фарби на відбиток. Цей процес забезпечується фарбовим апаратом (ФА) і залежить в значній мірі від особливостей його конструкції, виготовлення, налаштування і експлуатації. У ФА відбуваються складні процеси розкочування та підготовки фарби. Чим менше часу займають ці процеси, тим ефективніше використання друкарських машин. З появою нових матеріалів для задруковування ФА потребують подальшого конструктивного удосконалення, що вимагає більш детального і ретельного вивчення як самих механізмів, що входять до їх складу, так і фізико-хімічних процесів, які супроводжують процес підготовки фарби.

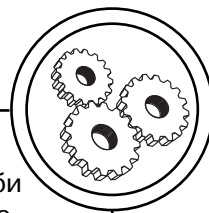
Існуючі рекомендації щодо методів розрахунку параметрів і вибору оптимальних схем ФА, кількості і взаємного розташування валиків, їх діаметрів, розгалуження фарбових потоків досить складні [1, 2]. Оригінальні

технічні рішення і розробки останніх років, які впроваджені в друкарських машинах, є інтелектуальною власністю фірм-виробників, інформація про які у вільному доступі практично відсутня.

Для оптимізації розробки ФА необхідно мати доступні програмні методи з можливістю моделювання процесу нанесення фарби в залежності від їх призначення та конструкції.

#### Аналіз попередніх досліджень

ФА призначений для підготовки фарби з наданням їй певних характеристик та забезпечення стабільного нанесення її по всій площі друкарської форми на протязі всього часу друкування накладу. Крім того, ФА повинен мати конструкцію, яка б дозволяла швидко і спрощене обслуговування, можливість здійснення зонального та безступінчастого регулювання подачі фарби з мінімальним запізненням, можливість автоматизації та контролю процесу нанесення [3, 4].



В офсетному друці використовуються в'язкі фарби (в'язкість 1,4...46 Па·с). Такі фарби потребують попередньої підготовки перед їх нанесенням на задруковуваний матеріал. Відповідно ФА для в'язких фарб складається з великої кількості валиків (від 12 до 21), які розкочують фарбу, роблять її еластичнішою і сприяють формуванню рівномірного шару [1, 2, 4]. Альтернативою традиційним (рис. 1, а) є короткі ФА (рис. 1, б). Такі апарати складаються з малої кількості розкочувальних валиків (від 2 до 4), що спрощує конструкцію ФА, знижує собівартість їх виготовлення і забезпечує поліпшені умови експлуатації [3].

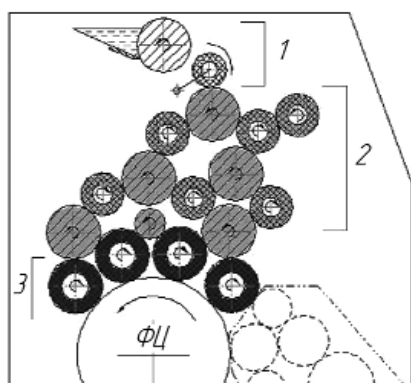
Принцип роботи ФА полягає у відокремленні спочатку певної кількості фарби, товщиною значно більшою, ніж необхідно для нанесення на друкарську форму. При проходженні через систему

валиків та циліндрів шар фарби зменшується до товщини нанесення.

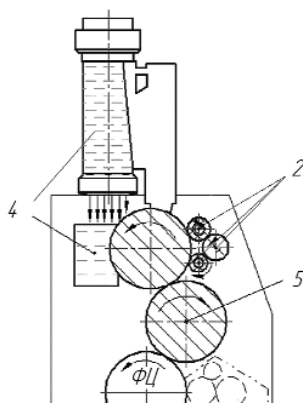
Для стабільної роботи ФА необхідно забезпечити виконання умови балансу фарби:

$$\varphi r_d l \delta_d = \gamma r_n l \delta_n = z k_c S \delta_v, \quad (1)$$

де  $\varphi$  і  $\gamma$  — кути повороту відповідно дукторного і приймального циліндрів під час контакту з передавальним хитним валиком;  $l$  — робоча довжина лінії контакту;  $\delta_d$  — товщина шару фарби, яка передається дукторним циліндром;  $\delta_n$  — товщина шару фарби на приймальному циліндрі;  $k_c$  — середній коефіцієнт заповнення форми друкуючими елементами;  $S$  — площа форми;  $\delta_v$  — середня товщина шару фарби на відбитку;  $z$  — кількість відбитків, що друкуються за один хід передавального хитного валика;  $r_d$  і  $r_n$  — радіуси відповідно дукторного і приймального циліндрів.

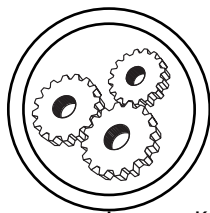


а



б

Рис. 1. Принципові схеми ФА машин «Speedmaster» традиційної (а) та короткої (б) побудови (1, 2, 3 — відповідно дозуюча, розкочувальна і накочувальна групи валів і циліндрів; 4 — фарбовий модуль з камерракельною системою; 5 — накочувальний циліндр)



Для покращення якості розкочування та нанесення фарби рекомендується чередувати еластичні валики і металеві циліндри. Для уникнення шаблонування діаметри валів і циліндрів не мають бути кратними. Циліндри приводяться від електродвигуна через зубчасті зачеплення, а валики — тільки за рахунок сил тертя, що виникає в зачепленні циліндр—фарба—валик. Фарбові розкочувальні циліндри мають обертовий рух і додаткове осьове переміщення [1, 2].

Валики виготовляють з суцільними оболонками із поліефіуретану, гуми або спеціальних композицій, які наносяться на сталеві стрижні з подальшим шліфуванням. Розкочувальні циліндри для забезпечення жорсткості виготовляють сталевими з наступним покриттям робочої поверхні для забезпечення олеофільних властивостей міддю або спеціальними синтетичними матеріалами.

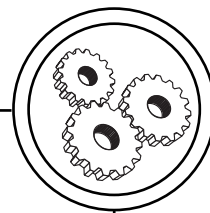
Стабільність процесів розкочування і накочування фарби залежить від кількості поданої фарби, кількості та діаметрів валиків та циліндрів, температури на валиках та оточуючого середовища, а також визначається рядом інших параметрів: швидкістю роботи, тиском в контактній зоні «валик—циліндр», фізико-механічними властивостями еластичного матеріалу валиків, величиною і частотою осьового переміщення, товщиною фарбового шару, в'язкістю фарби і її властивостями.

Фарбові валики, в процесі роботи, піддаються дії наванта-

жень, що призводить до деформації їх еластичної поверхні [4]. Ці деформації спричиняють нагрів валиків, еластична оболонка збільшується в розмірах, що є причиною збільшення погонного тиску в контактних зонах і, відповідно до ще більшого нагрівання валиків. Надмірні температури у фарбовому апараті змінюють властивості фарби, а також призводять до порушення умов розкочування і переходу фарби на форму. При цьому валики з більш жорстких матеріалів нагріваються повільніше за валики, що мають менш жорстку оболонку [5].

Якість розкочування і накочування фарби залежить від кількості контактів між поверхнями. Ствердження, що зі збільшенням кількості контактів якісні показники покращуються, не завжди є вірним. Наприклад, система Heidelberg Anicolor (див. рис. 1, б), в якій ФА складається лише з 2-х розкочувальних і одного накочувального циліндрів, забезпечує якість друкування, яка не поступається якості машин з традиційною будовою ФА.

Основними характеристиками ФА є коефіцієнт розподілу фарби в зоні контакту двох тіл  $\alpha$ , коефіцієнт перенесення фарби на форму  $\beta$ , в'язкість фарби, шорсткість поверхонь розкочувальних елементів тощо. Спроби створити і описати «правильну» модель реального ФА ведуться давно [2, 5, 6, 8]. При дослідженні процесу розподілу та розкочування фарби використовуються, як правило, неперервні рівняння [7, 8]. Такий підхід не відображає фізичну суть



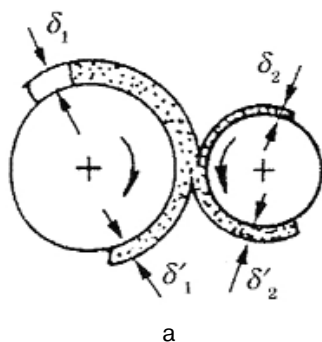
реального процесу розкочування, при якому подача фарби відбувається періодично. Такі моделі доцільно використовувати лише для наближеного розрахунку ФА. На сьогодні не існує єдиних рекомендацій щодо вибору схеми ФА, кількості валиків в кожній з груп (дозувальна, розкочувальна, накочувальна), діаметрів валиків і характеру їх розташування. Наявність багатьох факторів і різноманіття існуючих схем ФА потребує удосконалення методів їх дослідження. Слід зауважити, що загальнодоступні методи, алгоритми, програми, які використовуються при проектуванні ФА, в публічному доступі відсутні.

### Мета дослідження

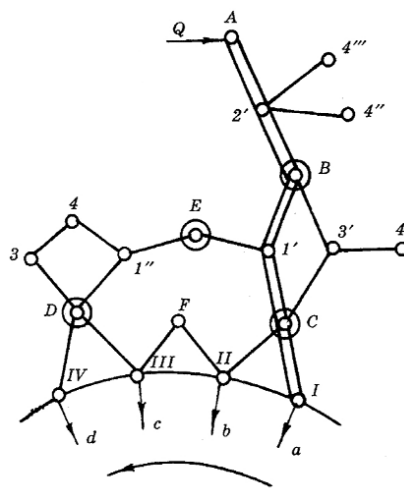
Метою даної роботи є аналітичні дослідження параметрів ФА та розробка математичної моделі процесу розподілу і подачі фарби, направлених на підвищення надійності та стабільності фарбового потоку.

### Результати проведених досліджень

Процес підготовки фарби — це процес розподілу порції фарби, яка подається з дозуючої групи, по поверхнях валиків і циліндрів і надання фарбовому шару певних властивостей. Кінцевим результатом цього процесу є накочування фарби тонким рівномірним шаром на друкарську форму. Моделювання процесу розподілу і нанесення фарби є досить громіздким і складним завданням. Найбільш доречним є комп'ютерне моделювання процесу розподілу фарби за допомогою програмних середовищ (3DSMax, Delphi тощо) з врахуванням характеристик фарби та матеріалів контактуючих поверхонь. При контакті двох циліндричних елементів (рис. 2, а) шари фарби, які знаходяться на поверні цих контактуючих тіл, складаються, а при виході із зони розділяються в певних пропорціях. Цей процес можна описати наступним рівнянням:

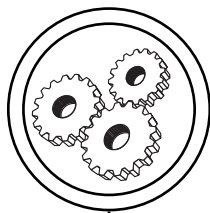


а



б

Рис. 2. Схема розподілу фарбових шарів: а — двоциліндрова контактна група; б — структурна схема багатоциліндрового ФА з подачею фарби на друкарську форму



$$\delta_1 + \delta_2 = \delta'_1 + \delta'_2. \quad (2)$$

Прийнято, що при однаковій температурі двох контактуючих поверхонь та рівних колових швидкостях шар фарби у зоні контакту ділиться приблизно навпіл [2]:

$$\delta'_1 = \delta'_2. \quad (3)$$

Розглянемо дві найбільш поширені принципові схеми подачі фарби: пряма подача фарби при контакті двох циліндрів та подача фарби розгалуженою системою при контакті трьох і більше циліндрів і визначимо основні закономірності цього процесу. При усталеному процесі подачі фарби на формний циліндр (ФЦ) суцільним потоком за допомогою системи накочувальних (1–1V) і передавальних (А, В, Е) валиків і розкочувальних (С, D) циліндрів шар фарби на відбитку  $\delta_v$  буде становити (рис. 2, б):

$$\delta_v = \beta S, \quad (4)$$

де  $\beta$  — коефіцієнт переходу фарби з форми на відбиток;  $S$  — площа форми.

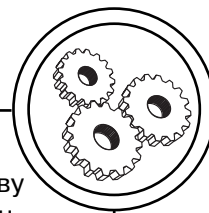
Шар фарби після кожної контактної зони стає, внаслідок розподілу між контактуючими площинами, щораз тоншим. Чим більше валиків і циліндрів між фарбоживильною групою і формою, тим тонший шар фарби може бути нанесено на форму. Розгалуження загального потоку фарби допомагає подати додаткову кількість фарби, а також вирівняти мікронерівності, що виникають внаслідок зворотнього ефекту.

Дослідження фарбового потоку зручно здійснювати за допомогою структурних схем, які можна представити шляхом з'єднання центрів валиків і циліндрів прямими лініями. Приклад структурної схеми ФА, зображеного на рис. 1, а, показано на рис. 2, б. Порція фарби подається в розкочувальну групу, де може розподілятися на окремі потоки, і через накочувальні валики наноситься на форму. Головний потік показано подвійними лініями, одинарними — напрямки інших потоків. Передача фарби циклічна, що є причиною виникнення динамічних навантажень і ударів в системі, а також коливань товщини шарів нанесеної фарби.

Розвиток комп'ютерних технологій дозволяє значно розширити застосування методів математичного аналізу для поглиблення дослідження процесу розподілу і нанесення фарби з врахуванням фізичних процесів, характерних для роботи ФА.

За основу у дослідженні ФА покладена умова додавання (2) і розподіл шарів навпіл (3, 4), яка дозволяє, складаючи послідовно ряд рівнянь для всіх контактних зон, вирахувати товщину фарбового шару на довільному валику. Такий підхід справедливий для ідеальних умов. Однак на практиці, коефіцієнт розподілу (а з ним і товщина фарбового шару) залежить від цілого ряду факторів, основними з яких є:

— температура контактуючих поверхонь (на валиках з нижчою температурою шар фарби більший, ніж на валиках з вищою температурою);



— структура і якість матеріалів, чистота обробки поверхні, точність балансування і прогин валиків та циліндрів;

— характер рельєфу друкарських елементів, який утворюється на накочувальних валиках і передається на інші валики ФА.

Авторами розроблено алгоритм і запропоновано програму для моделювання процесу розкочування фарби у фарбових групах, в основі якого використано опис розподілу фарби за допомогою рівнянь:

$$h_i(t) = x_i(t) \cdot t^{-1}$$

$$x_i(t) = h_i(t) + l_i(t)$$

$$l_i(t) = (1 - \alpha) \cdot x_i(t) \cdot t^{-1} \quad (5)$$

де  $\alpha$  — коефіцієнт позподілу фарби після контакту;  $\beta$  — коефіцієнт розподілу фарби між формою і задркуванням матеріалом;  $h_i(t)$ ,  $x_i(t)$ ,  $l_i(t)$  — параметри зміни товщини шару фарби внаслідок контакту;  $t^{-1}$  — час півоберту валика.

Для зручності моделювання і можливості використання дискретного перетворення Лапласа для дослідження і аналізу рівнянь (5) прийнято ряд припущень:

— шар фарби має однакову товщину по всій площі нанесення і змінюється лише в зоні контакту;

— перенесення фарби відбувається лише в зоні контакту (втрати фарби внаслідок, наприклад, пилення, відсутні, що дозволяє прийняти  $h_i(t) = h_i$ ).

Ці припущення дозволили спростити залежності (5) і отримати упорядковану модель для розрахунку величини фарбового шару на довільному валику системи, незалежно від кількості контактних зон і наявності розгалужень, пересікань і накладань потоків фарби:

$$h_i = \alpha \cdot x_{i-1}$$

$$x_i = h_{i-1} + l_{i+1}$$

$$l_i = (1 - \alpha) \cdot x_i. \quad (6)$$

Залежності (6) дозволяють побудувати матрицю рівнянь як для послідовно з'єднаних валиків ФА (рис. 3), так і для розгалужених систем (рис. 4).

На рисунках 3 і 4 прийняти такі позначення:  $h_1 \dots h_4$  — товщина шару фарби на валиках до контакту;  $l_1 \dots l_4$  — товщина шару фарби на валиках після контакту;  $x_1 \dots x_4$  — товщина шару фарби у зоні контакту;  $h_0$  — товщина поданого у ФА фарбового шару;

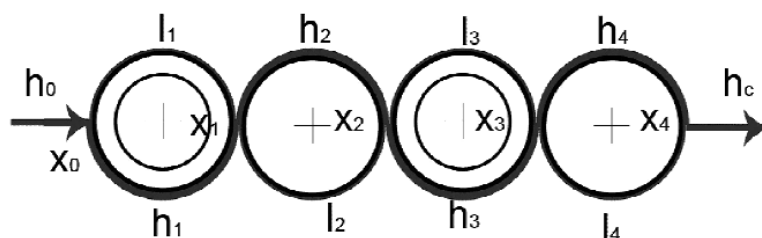


Рис. 3. Фарбова група з 4-ма послідовно з'єднаними валиками





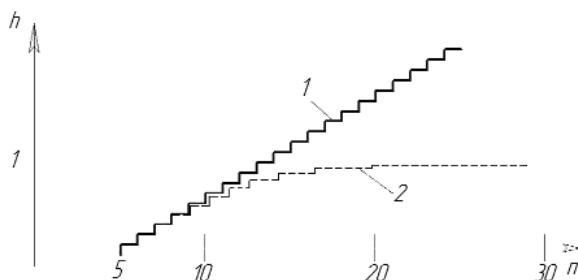
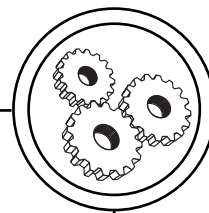


Рис. 5. Зміна величини шару фарби на накочувальному валику (система з 4-х послідовно з'єднаних валиків): 1 — без перенесення на друкований матеріал (з параметрами:  $\alpha = 0,5$ ;  $\beta = 0$ ); 2 — з перенесенням на друкований матеріал (з параметрами:  $\alpha = 0,5$ ;  $\beta = 0,5$ )

сення фарби на матеріал (крива 2) процес накопичування фарби на валиках поступово прямує до необхідного значення ( $h = 1$ ). Внаслідок інерційності процесу необхідне значення ( $h = 1$ ) величини шару фарби досягається приблизно через 30 обертів, при цьому ФА досягне усталеного режиму, що є умовою початку друкування продукції.

Результати дослідження 4-валикової моделі при зміні величини коефіцієнта розподілу фарбового шару між валиками  $\alpha$  представлені на рис. 6. Аналіз результатів моделювання дозволяє зробити висновок, що процес розподілу і накопичування фарби суттєво залежить від величини  $\alpha$ ,

зміна цього параметру тільки на 0,1 в плюсову сторону скорочує час підготовки машини до друку практично вдвоє, а зменшення на таку величину — призводить до нестабільності процесу розподілу і передачі фарби на задруковуваний матеріал, що спричиняє значне уповільнення процесу налаштування машини.

Виконано також моделювання процесу розподілу і нанесення фарби при зміні коефіцієнту  $\beta$  (коефіцієнт переходу фарби з форми на задруковуваний матеріал). Аналіз результатів показав, що зміна коефіцієнта  $\beta$  практично не впливає на параметри і динаміку всього процесу розподілу і нанесення фарби (рис. 7).

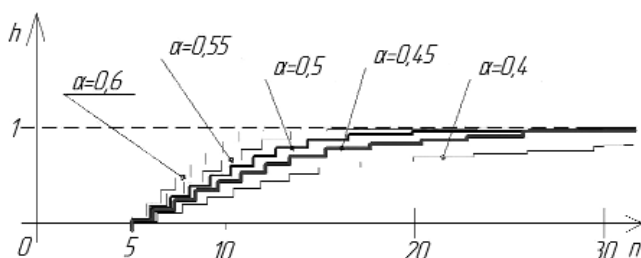


Рис. 6. Зміна величини шару фарби на накочувальному валику (система з 4-х послідовно з'єднаних валиків, при  $\alpha = [0,6; 0,55; 0,5; 0,45; 0,4]$ ;  $\beta = 0,5$ )



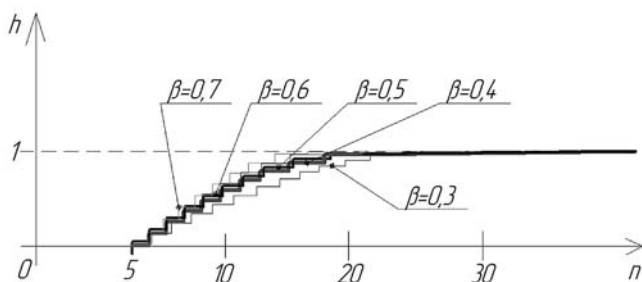
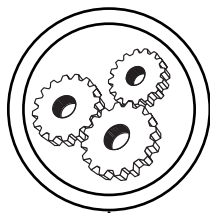


Рис. 7. Зміна величини шару фарби на накочувальному валику (система з 4-х послідовно з'єднаних валиків при  $\alpha = 0,5$ ;  $\beta = [0,7; 0,6; 0,5; 0,4; 0,3]$ )

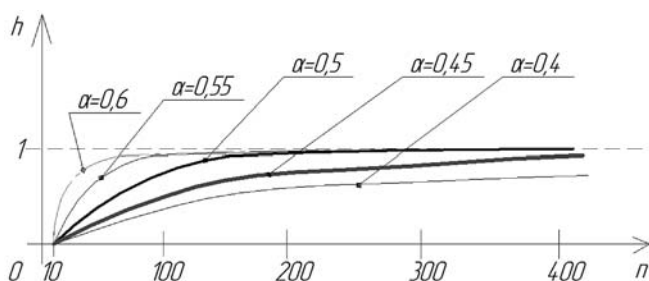


Рис. 8. Зміна величини шару фарби на накочувальному валику (система з 10-ти послідовно з'єднаних валиків, при  $\alpha = [0,6; 0,55; 0,5; 0,45; 0,4]$ ;  $\beta = 0,5$ )

Були проведені також дослідження моделей ФА зі збільшеною кількістю послідовно з'єднаних валиків (від 4 до 10-ти) і зміни коефіцієнтів  $\alpha$  (від 0,4 до 0,6) і  $\beta$  (від 0,3 до 0,7).

Результати показали, що досягнення оптимальної кількості фарби на формі і стабілізація процесу нанесення фарби при збіль-

шенні кількості контактних зон (кількість валиків у фарбовій системі) у структурі ФА суттєво уповільнюється (рис. 8 і 9). Результати моделювання процесу розподілу фарби дозволили встановити залежність між коефіцієнтом розподілу  $\alpha$  і тривалістю перехідного процесу підготовки машини і підтвердили,

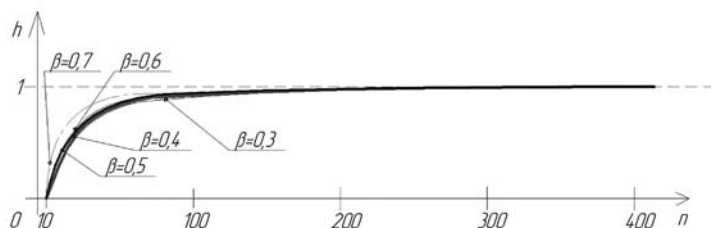
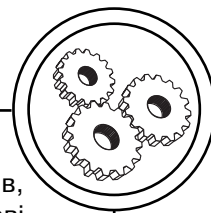


Рис. 9. Зміна величини шару фарби на накочувальному валику (система з 10-ти послідовно з'єднаних валиків, при  $\alpha = 0,5$ ;  $\beta = [0,7; 0,6; 0,5; 0,4; 0,3]$ )



що зміна коефіцієнта  $\beta$ , як і у випадку з групою з 4-х валиків, майже не впливає на швидкість перебігу процесу розподілу і нанесення фарби.

Запропонована методика дослідження ФА дозволяє визначити величини фарбових шарів з урахуванням коефіцієнтів  $\alpha$  і  $\beta$  на поверхнях всіх валиків фарбової системи. На рис. 10–12 приведені результати досліджен-

ня фарбової групи з 4-х валиків, де  $h_1, h_2, h_3, h_4, h_c$  — фарбові шари відповідно на 1, 2, 3 і 4 валиках і задрукованому матеріалі (див. рис. 3), а на рис. 13–15 — результати фарбової групи з 10-и послідовно з'єднаними валиків (див. рис. 4).

## Висновки

Запропоновано алгоритм аналізу ФА листових офсетних дру-

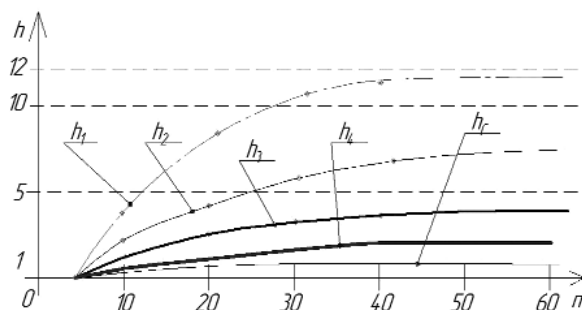


Рис. 10. Величина шару фарби на поверхнях валиків і задрукованому матеріалі (4 валики,  $\alpha = 0,4$ ;  $\beta = 0,5$ )

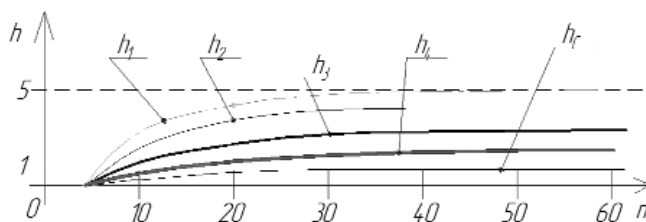


Рис. 11. Величина шару фарби на поверхнях валиків і задрукованому матеріалі (4 валики,  $\alpha = 0,5$ ;  $\beta = 0,5$ )

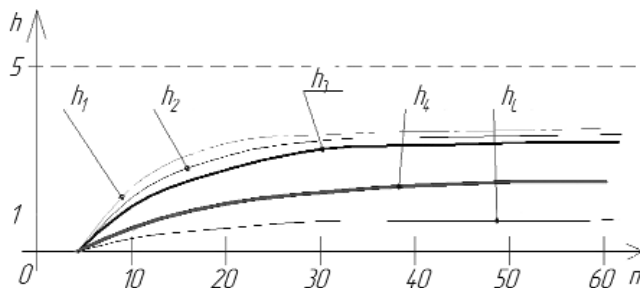
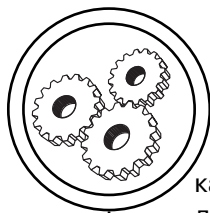


Рис. 12. Величина шару фарби на поверхнях валиків і задрукованому матеріалі (4 валики,  $\alpha = 0,6$ ;  $\beta = 0,5$ )



карських машин та програму для моделювання процесу розкочування фарби у фарбових групах. Досліджені процеси формування фарбового шару на валиках фарбового апарату, в результаті яких встановлено залежність параметрів розподілу фарби від кількості валиків у ФА. Проведений аналіз дозволяє сформулювати рекомендації

щодо структури ФА з ціллю зменшити час, необхідний для підготовки ФА до друку, і зменшити витрати фарби при друкуванні (менша кількість фарби втрачається також і при змиванні ФА). Встановлено, що розподіл фарбових шарів залежить від коефіцієнта  $\alpha$ , який залежить від співвідношення діаметрів валів, шорсткості матеріалів та якості

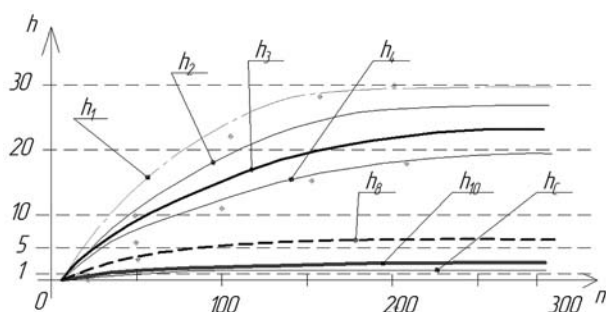


Рис. 13. Величина шару фарби на поверхнях валиків і задрукованому матеріалі (10 валиків,  $\alpha = 0,4$ ,  $\beta = 0,5$ )

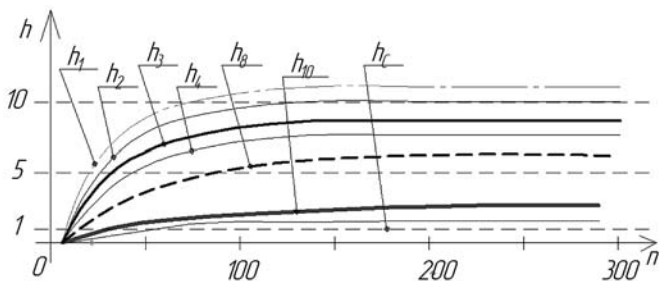


Рис. 14. Величина шару фарби на поверхнях валиків і задрукованому матеріалі (10 валиків,  $\alpha = 0,5$ ;  $\beta = 0,5$ )

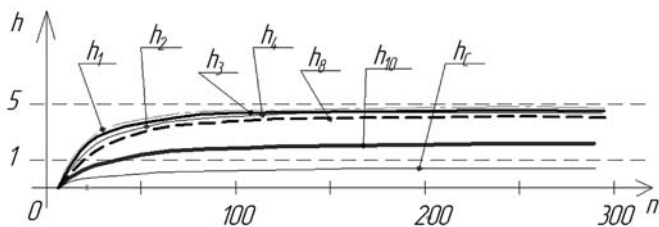
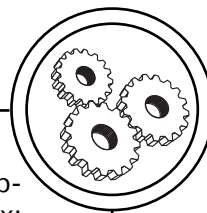


Рис. 15. Величина шару фарби на поверхнях валиків і задрукованому матеріалі (10 валиків,  $\alpha = 0,6$ ;  $\beta = 0,5$ )



обробки їх поверхонь, температурних показників поверхонь контакту тощо. Аналіз отриманих результатів показує, що при зміні коефіцієнта розподілу  $\alpha$  в установленому режимі спостерігається перерозподіл фарбового шару: при зменшенні коефіцієнта ділення  $\alpha < 0,5$  на перших валиках відбувається накопичення фарби, що дестабілізує процес розподілу, при  $\alpha \geq 0,6$  спостерігається

вирівнювання товщини фарбового шару на всіх валиках; розподіл фарбового шару майже не залежить від задруковуваного матеріалу; на процес розподілу фарби, швидкість виходу на сталий режим роботи при підготовці ФА до друку суттєво впливають матеріал, структура і температура поверхні, кількість розкочувальних елементів у системі.

1. Хведчин Ю. Й. Исследование краскоподающей группы : автореф. дис. на соискание ученой степени канд. техн. наук: спец. 05.02.15. «Машины, агрегаты и процессы полиграфического производства» / Хведчин Юрий Йосипович. — М. : МПИ, 1970. — 22 с. 2. Heidelberg AG. Heidelberg Speedmaster SM-52 with Anicolor Ink System. User manual. — Leipzig : Heidelberg AG, 2006. — 120 с. 3. Алексеев Г. А. Красочные аппараты ротационных машин высокой и плоской печати / Г. А. Алексеев. — М. : Книга, 1980. — 184 с. 4. Толстой Г. Д. Исследование энергетических параметров красочных аппаратов машин высокой и плоской печати : автореф. дис. на соискание ученой степени канд. техн. наук: спец. 05.02.15. «Машины, агрегаты и процессы полиграфического производства» / Толстой Григорий Денисович. — М. : МПИ, 1962. — 22 с. 5. Шиманский К. В. Методика комплексного расчёта температурного режима красочных аппаратов печатных машин : автореф. дис. на соискание ученой степени канд. техн. наук: спец. 05.02.15. «Машины, агрегаты и процессы полиграфического производства» / Шиманский Кшистов Вацлавович. — Львов : УПІ, 1985. — 19 с. 6. Вартанян С. П. Исследование и разработка системы автоматического управления подачей краски в процессе печатания : дис. на соискание ученой степени канд. техн. наук: спец. 05.02.15. «Машины, агрегаты и процессы полиграфического производства» / Вартанян С. П. — М. : МПИ, 1972. — 120 с. 7. Щесюк Т. А. Математичне моделювання процесу розкочування фарби в друкарських машинах : автореф. дис. на здобуття наукового ступеня канд. техн. наук: спец. 05.15. «Машины, агрегаты и процессы полиграфического производства» / Щесюк Т. А. — Львів : УАД, 2000. — 20 с.

Рецензент — В. В. Степанець, к.т.н.,  
доцент, НТУУ «КПІ»

Надійшла до редакції 02.03.11